

# AI 技术在电气工程继电保护自动化控制中的应用

李 林

贵州乌江水电开发有限责任公司大龙分公司 贵州 铜仁 554001

**【摘 要】**：电网作为国家基础设施建设过程中的关键部分，确保电网的安全稳定运行，对于提升电力系统运行效率有着十分重要的作用。以往的继电保护装置运维方式相对落后，难以满足智能变电站的建设需求，实现继电保护装置的自动化控制，对于确保变电站的稳定运行有着十分重要的作用。基于此，研究提出一种基于 AI 技术的继电保护自动化控制方法，以此来实现继电保护装置的智能运维与自动化控制。

**【关键词】**：AI 技术；电气工程；继电保护；自动化控制；应用

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.027

## 引言

随着电力系统向高电压、大容量、跨区域方向发展，传统继电保护自动化控制面临响应速度不足、复杂故障识别精度低等挑战。AI 技术以其强大的数据处理、模式识别及自适应学习能力，为突破传统技术瓶颈提供了新路径。该技术通过神经网络、模糊逻辑等算法，可实时分析海量电气量数据，精准识别短路、接地等故障类型，缩短故障定位时间。同时，借助深度学习模型优化保护定值，可以有效提升系统对动态运行工况的适应能力。

## 1 AI 技术在电气工程继电保护自动化控制中的应用意义

### 1.1 提升继电保护可靠性，强化电力系统安全防线

AI 技术通过深度挖掘历史运行数据与故障案例，构建动态自适应的保护模型，能够精准区分正常波动与故障状态，显著降低误判概率。其强大的模式识别能力可穿透干扰信号，快速锁定故障本质特征，即使在系统拓扑结构变化、新能源接入等复杂场景下，仍能保持保护动作的准确性与及时性。这种可靠性的提升，不仅减少了故障扩大风险，更延长了设备使用寿命，为电力系统构筑起更坚固的安全防线，保障电力持续稳定供应。

### 1.2 提高系统运行效率，优化电力资源配置

电力系统的高效运行依赖于对故障的快速响应与处理，传统继电保护在故障定位、隔离及恢复过程中需人工干预，耗时较长且易受人为因素影响。AI 技术可以实时分析多维度监测数据，实现故障的秒级识别与定位，并自动生成最优隔离方案，大幅缩短故障处理时间，减少停电范围与时长。同时，AI 算法能动态优化保护装置的动作阈值，使系统在不同负荷水平下均保持最佳运行状态，降低不必要的保护动作对供电连续性的影响，从而提升了电力系统的整体运行效率，促进了电力资源的精准调配。

### 1.3 推动继电保护技术创新，促进学科交叉融合

AI 技术的引入打破了传统继电保护依赖经验与固定算法

的局限，推动保护技术从“规则驱动”向“数据驱动”转型。神经网络、强化学习等算法的应用，为解决复杂电力系统中的非线性、高耦合问题提供了新方法，催生了自适应保护、智能决策等新型保护理念。这种技术创新不仅丰富了继电保护的理论体系，还促进了电气工程与计算机科学、数据科学等学科的交叉融合，形成新的研究热点与技术增长点，推动了继电保护技术向更高水平的发展。

### 1.4 增强电力系统韧性，适应能源转型需求

随着新能源大规模接入、电力电子设备广泛应用，电力系统的运行特性日益复杂，传统继电保护难以适应高比例可再生能源并网带来的波动性与不确定性。AI 技术凭借其强大的学习能力和预测能力，可提前感知系统潜在风险，发出故障预警，为运维人员争取预处理时间，增强系统的抗干扰能力与故障自愈能力。同时，AI 驱动的继电保护系统能够更好地协调新能源发电与传统电力系统的运行，优化保护策略以适应间歇性电源的特性，保障新能源的高效消纳。

## 2 AI 技术在电气工程继电保护自动化控制中的应用困境

### 2.1 数据质量与获取制约 AI 模型效能发挥

传统继电保护装置的监测数据多为局部电气量，缺乏全系统同步采集，数据维度单一且碎片化，难以支撑 AI 模型对复杂故障特征的深度挖掘。电力系统故障具有偶发性与多样性，极端故障与新型故障样本数据稀缺，导致 AI 模型训练易出现过拟合，对未见过的故障类型识别精度下降。不同厂家设备数据格式不统一，历史数据存在噪声、缺失值及标注错误，数据清洗与标准化成本高昂，限制了 AI 模型的泛化能力。

### 2.2 算法固有局限与电力系统特性存在适配矛盾

AI 算法设计逻辑与电力系统实时性、可靠性要求存在冲突。多数 AI 模型需复杂计算与较长训练时间，而继电保护要求毫秒级故障识别与决策，运算效率难以满足快速响应需求。AI 算法的“黑箱”特性导致决策过程缺乏可解释性，运维人员无法追溯依据，误动时难以定位根源。电力系统运行状态具有

强非线性、时变性，AI模型基于历史数据训练，对系统拓扑突变、新能源功率波动等动态场景适应性不足，易因参数固化产生决策偏差，与保护稳定性要求形成矛盾。

2.3 与现有系统兼容性差，改造升级成本高昂

现有继电保护体系基于传统硬件架构与通信协议，AI技术接入需突破多层面兼容性障碍。硬件上，传统保护装置算力与存储有限，无法承载复杂AI算法，需全面升级或加装模块，改造可能影响系统运行。软件上，AI模型接口协议与现有调度系统、监控平台不兼容，数据交互存在壁垒，分析结果难以融入决策闭环。电力系统连续性要求高，AI部署需不停电或短时停电完成，改造难度大、周期长。不同区域、电压等级系统技术标准不一，AI解决方案需定制开发，推高成本，制约规模化应用。

2.4 安全风险与伦理挑战凸显，监管体系不完善

AI技术引入新安全隐患，数据与算法安全威胁继电保护可靠性。数据传输中，运行数据可能被窃取或篡改，导致模型训练数据污染引发误动；算法漏洞可能被利用植入后门，干扰决策流程造成系统风险。AI应用缺乏完善伦理规范与监管框架，尚无电力行业统一标准，对模型性能评估、责任界定、故障追责缺乏明确规定。AI决策失误导致事故时，难以划分技术开发者、运维者与厂商责任，监管空白加剧安全风险，降低行业信任度，阻碍关键环节深度应用。

3 AI技术在电气工程继电保护自动化控制中的应用策略

3.1 合理设置设备接口连线

在将AI技术融入电气工程继电保护自动化控制体系时，合理设置设备接口连线是基础且关键的一环。不同设备间的接口连线需保持独立，以此降低信号干扰的可能性，确保数据传输的准确性与稳定性。举例来说，在一个包含多种继电保护装置（如图1所示）以及AI运算单元的系统中，各设备接口连线相互交织、未做有效区分，那么在系统运行时，不同线路间的信号极易相互串扰，导致数据误传或丢失，进而影响AI技术对继电保护状态的准确判断与控制指令的正确发出。同时，设备质量是保障接口连线稳定运行的重要前提，要严格把控设备采购环节，选择质量可靠、性能稳定的设备，从源头上减少因设备故障引发的接口连线问题。并且，在布线材料选择上，应优先使用光纤电缆。光纤电缆具有传输速度快、抗干扰能力强等优势，能极大提升数据传输的效率与安全性。在长距离数据传输场景中，普通电缆可能会因信号衰减、电磁干扰等因素导致数据失真，而光纤电缆则能有效避免此类问题，为AI技术高效处理继电保护数据提供坚实的传输保障。



图1 电力系统自动化综合试验台，电力自动化和继电保护设备

3.2 做好继电保护装置版本和软压板的校对

继电保护装置的版本与软压板状态直接关系到AI技术能否在自动化控制中发挥最佳效能。硬件和软件都必须与国家标准严格一致，定期对继电保护装置的版本进行核查，及时更新到符合标准的最新版本，防止因版本过旧导致与AI系统兼容性差，无法准确执行AI发出的指令，或者出现数据交互不畅等问题。例如，继电保护装置版本过旧，其数据格式可能与AI系统预期的格式不匹配，AI系统在接收和处理该装置数据时就会出现错误，影响对电力系统故障的判断。同时，要加强软压板的管理。软压板的设置决定了继电保护功能的投退，其状态的准确性对系统安全至关重要。在日常运维中，借助AI技术对软压板状态进行实时监测与智能分析，当软压板状态发生异常变动时，AI系统能迅速发出警报，并通过数据分析判断异常原因，为运维人员提供精准的处理建议。比如，当AI系统监测到某软压板在无操作指令情况下突然变位，它可以快速分析相关设备的运行数据、操作记录等，判断是人为误操作还是设备故障导致，从而帮助运维人员及时采取措施恢复软压板的正确状态，保证继电保护装置稳定运行。以下是相关案例表格：

| 案例类型       | 具体情况                                                          | AI系统表现                                                                | 应对措施                                                                              |
|------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 继电保护装置版本问题 | 某区域变电站的继电保护装置使用多年未更新版本，其输出的数据格式为旧版二进制格式，而AI系统要求接收的是新版JSON格式数据 | AI系统在接收数据时无法正确解析，出现数据乱码和缺失现象，导致对该区域电力线路故障的判断延迟了2.3秒                   | 立即安排技术人员将继电保护装置版本更新至符合国家标准的最新版本，同时对AI系统的数据接收模块进行适配性调试，确保数据格式兼容                    |
| 软压板异常状态    | 某工业园区配电系统中，10kV线路的软压板在无操作指令情况下由“投入”变为“退出”状态                   | AI系统实时监测到该异常变动后，立即发出声光警报，并调取该软压板相关的设备运行数据（如线路电流、电压波动情况）和近24小时操作记录进行分析 | 运维人员根据AI系统提供的分析结果，迅速到现场检查，发现是软压板内部继电器老化导致误动作，及时更换继电器并将软压板状态恢复至“投入”，同时对同类软压板进行全面排查 |

### 3.3 加强相关规章制度的制定

为了更好地将AI技术融入电气工程继电保护自动化控制,完善的规章制度不可或缺。制定详细的技术标准,明确AI技术在继电保护各环节的应用规范,从数据采集、传输、处理到控制指令的发出,都要有清晰的标准流程。例如,规定数据采集的频率、精度以及数据传输的协议,确保AI系统获取的数据准确且符合处理要求。同时,制定软件开发框架相关制度,规范AI软件的开发、测试、升级流程,保障软件质量与稳定性。在软件升级方面,要明确升级的条件、审批流程以及升级后的测试要求,防止因软件升级不当引发系统故障。当有新的AI功能软件需要接入继电保护自动化控制系统时,严格按照既定的软件开发框架制度进行评估、测试,只有通过全面测试,证明其能与现有系统良好兼容且不会对继电保护功能产生负面影响后,方可正式投入使用。这些规章制度的建立,不仅能简化设备维护流程,使运维人员在面对设备问题时能依据标准快速定位和解决;还能规范AI技术应用,提高系统整体的可靠性与稳定性,促进电气工程继电保护自动化控制的有序发展。

### 3.4 强化自适应控制技术的应用

自适应控制技术是AI技术在继电保护自动化控制中的重要应用方向。它能够依据电力系统实时运行状态,动态调整保护定值。在实际电力系统运行中,负荷情况时刻变化,电力设备的运行参数也随之改变。例如,在用电高峰期,系统负荷增大,短路电流水平会相应提高。此时,自适应控制技术可借助AI算法,实时采集电力系统中的短路电流、电压、功率等运行数据,并对这些数据进行深入分析。根据分析结果,自动、快速地调整继电保护的定值,确保在新的运行状态下,继电保护

装置能够准确、及时地对故障做出反应,有效防止故障扩大。同时,通过对历史故障数据和实时运行数据的对比学习,AI系统可以识别出可能导致故障的异常运行趋势,提前发出预警,并调整保护策略,提前加强对某些关键设备的监测与保护力度,从而提高电力系统运行的安全性和稳定性,最大限度地降低故障发生的概率以及故障造成的损失。

### 3.5 加强人工智能神经网络技术的应用

人工智能神经网络技术通过模拟人脑神经元结构,在电气工程继电保护自动化控制中展现出强大的故障识别与分类能力。在复杂的电力系统中,故障类型多种多样,且故障发生时的特征往往较为复杂。神经网络能够对大量的故障样本数据进行学习和训练,建立起准确的故障特征模型。同时,神经网络通过内部复杂的神经元连接和权重计算,可以对输入数据进行分析处理,与已存储的故障特征模型进行匹配,从而高效、准确地判断出故障类型和故障位置。例如,在高压输电线路保护中,利用BP神经网络模型,以线路两端的电流、电压数据作为输入,经过训练后的模型能够快速、精准地判断出线路发生的是短路故障、断路故障,还是其他类型的故障,以及故障发生在线路的具体位置,为后续的故障处理提供关键依据,大大提高了继电保护的及时性和准确性,保障电力系统的可靠运行。

总而言之,AI技术为电气工程继电保护自动化控制带来革新机遇,虽面临数据、算法、兼容及安全等困境,但应用价值显著。未来,需突破技术瓶颈,完善标准与监管。通过跨学科协作优化算法、构建数据体系、强化安全防护,推动AI与继电保护深度融合,助力电力系统向更可靠、智能方向发展,为能源安全高效供应奠定基础。

### 参考文献:

- [1] 彭珩.电气工程中的自动化继电保护策略分析[J].集成电路应用,2024,41(07):272-273.
- [2] 杨云舟.自动化技术在电气工程中的应用[J].电子技术,2023,50(03):110-111.
- [3] 刘纪伟,豆杰.电气自动化在铝合金行业中的应用[J].中国金属通报,2022,(09):62+64.
- [4] 姚杜.继电保护中电气工程智能系统的应用[J].当代旅游(高尔夫旅行),2022,(02):276.
- [5] 刘丁辉.电气工程智能系统在继电保护中的应用[J].科技经济市场,2021,(12):11.